

### Bestimmung der Gießtechnik historischer Gußstücke mit Hilfe numerischer Simulation

Wald, Dietrich; Schäfer, W.; Sahm, P. R.; Stock, M.; Eibner, C.

Veröffentlichungsversion / Published Version  
Zeitschriftenartikel / journal article

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:  
GESIS - Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften

#### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Wald, D., Schäfer, W., Sahm, P. R., Stock, M., & Eibner, C. (1989). Bestimmung der Gießtechnik historischer Gußstücke mit Hilfe numerischer Simulation. *Historical Social Research*, 14(4), 32-39. <https://doi.org/10.12759/hsr.14.1989.4.32-39>

#### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY Lizenz (Namensnennung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

#### Terms of use:

This document is made available under a CC BY Licence (Attribution). For more Information see:  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

## Bestimmung der Gießtechnik historischer Gußstücke mit Hilfe numerischer Simulation

*D. Wald, W. Schüfer, P.R. Sahm,  
M. Stock, C. Eibner\**

### 1. Einleitendes

Die archäometallurgische Forschung hat sich im Bereich der Metalltechnik bisher besonders gern mit der Gewinnung von Metall befaßt. Dabei kam jedoch die Metallverarbeitung etwas zu kurz. (Sie umfaßt alle Verfahren, die geeignet sind, Metalle in eine funktionale Form zu bringen, also Werkstücke herzustellen.)

Die älteste Methode, Metallen Gestalt aufzuprägen, ist das Umformen: durch gezielte äußere Krafteinwirkung, ohne Zerspannung also (keine Substanzverluste des Materials), z.B. durch Schmieden, Biegen, Auswalzen usw. Da bereits Artefakte aus verformten gediegenen Metallstücken bekannt sind, ist anzunehmen, daß die Umformtechnik älter ist als die Metallgewinnung aus Erzen: denn die Verhüttung wurde erst nötig, nachdem gediegene Metallvorräte zur Neige gingen.

Die Frage, ob gegossene Gedinge Metalle älter als die verhütteten Metalle anzusetzen sind, ist schwieriger zu beantworten. Die ältesten Metalle im mediterran-europäischen Kulturraum sind Kupfer und Blei (2). Diese fallen bei der Verhüttung flüssig an, müssen also vergossen werden. Ebenso ist die Verflüssigung bzw. das Aufschmelzen gediegenen Kupfers denkbar. Das Vergießen flüssiger Metalle muß demnach mindestens so alt sein wie die Metallverhüttung, wenn nicht noch älter!

Der (prä)historische Metalltechniker hatte dementsprechend neben den Problemen der Verhüttungsprozesse von Anfang an mit der Formgebung zu tun.

### 2. Gießtechnik

Um ein brauchbares Gußstück zu erhalten, sind zwei wesentliche Voraussetzungen zu schaffen:

---

\* Address all **Communications** to Dietrich Wald, Gießerei Institut, RWTH Aachen. Intzestr. 5, D-5100 Aachen, FRG.

- Bereitstellung der Gußform:
  - verlorene (etwa Sand ) oder Dauer (z.B. Stein)form,
  - Formherstellungsverfahren?
- Erschmelzen, Gießen und Erstarren:
  - verwendete Öfen und Heizung,
  - Gießtechnik, z.B. Anschnitt der Form,
  - Erstarrung, z.B. Speisung zwecks Vermeidung von Lunkern

usw. Antwort auf solche Fragen zeigt das Können des historischen Gießers, gibt sein »Know-how« wieder. Schriftliche Quellen einschließlich bildlicher Darstellungen, soweit überhaupt vorhanden, sowie archäologische Funde haben hier bisher wenig Licht in das »Dunkel der alten Gießtechniken« bringen können. Die meisten bekannten Quellen sind zudem meistens von Nichtfachleuten geschrieben.

Bei Funden ist die Lage so, daß Gußstücke selbstverständlich ohne Anschnitt- und Speisersysteme sind, da diese nach dem Erkalten und Entfernen der Form abgetrennt werden. So ist dieser Weg der Beurteilung von Anschnitt- und Speisertechnik nicht zu beschreiten. Viele der sogenannten Hortfunde enthalten Gießereiabfälle, zum einen Anschnitte und Speiser, die nicht, wie üblich wieder eingeschmolzen wurden, aber nun nicht mehr Gußstücken zuzuordnen wind. Vielleicht findet sich bei der systematischen Untersuchung von Gießereiabfallfunden, also Ausschuß wie der Gießer sagt, komplette Gußstücksysteme, die also noch Anschnitt und Speiser haben. Das wäre dann ein von den Zeitgenossen verworfenes Stück, aber es zeigt doch zumindest den Grenzbereich des gießtechnischen Know-how's an.

Bei der Frage nach den Verfahren Sand/Lehm-, Dauerform - oder Feinguß - sieht es ähnlich aus. Zwar finden sich Reste von Dauerformen oder Feingußkeramikschalen, aber Sand- und Lehmformen zerfallen unter Einwirkung der Gießhitze, es bleiben also fast keine erkennbaren Reste, mit Ausnahme einiger gebrannter Lehmteile. Die Frage, ob es Sandguß im geteilten Kasten in frühgeschichtlicher Zeit gegeben hat, ist umstritten. Drescher verneint die Frage, Goldmann bejaht sie. Da Sandformen nicht aufzufinden sind, bleibt die Frage offen. Typisch für Feinguß ist die geschlossene Formschale, so daß Grate wie bei geteilten Formen (Lehm, Dauerformen, Sand) nicht auftreten können. Außerdem weist Feinguß eine äußerst glatte Oberfläche ohne Grate auf. Metallische Dauerformen sind ebenfalls an der hohen Oberflächengüte (mit Grat entlang der Formteilung) der Gußstücke zu erkennen, bei Dauerformen aus Sandstein wird es aber schwierig zu erkennen, ob Sandstein oder Sandformen verwendet wurden.

Die rechnerische Simulation von Gießvorgängen kann hier Abhilfe schaffen. Sie berechnet mit Hilfe der Fourier'schen Wärmeleitungsglei-

chung die zeitabhängige Temperaturverteilung in einem Gußteil, d.h. den Erstarrungsverlauf des Gußstücks.

Als Beispiel wurde eine Absatzbeilkokille aus Bronze der Bronzezeit-Periode II gewählt. Sie wurde im niedersächsischen Haassel, Krs. Uelzen (»Haassel-II-Fundus«) gefunden. Die Zeiteinteilung wurde vorgenommen nach der Methode von Montelius.(3) Die Bronzekokille diente der Herstellung von Absatzbeilen, die typisch für die Periode II sind (siehe Bild 1).

Die für einen Gießereifachmann gar nicht existierende Frage, ob Bronze in Bronze gegossen werden kann, wurde 1957 von H. Drescher(1) in Experimenten bestätigt.

In unserer Untersuchung geht es nun darum, die Herstellung der bronzenen Dauerform zu beleuchten. Dafür kommt - wie auch Drescher ausführt - nur Guß in verlорener Form in Frage(1), entweder Lehm oder Tonsand, denn die spannende Formgebung war mit den Werkzeugen der Bronzezeit nicht möglich. Schmieden scheidet bei dem festgestellten Werkstoff (CuSn14) aus. Bei den Formverfahren böte sich die Alternative Dauerform aus Sandstein an, das wäre aber unwirtschaftlich, da Dauerformen (= Kokillen) Einzelstücke im Vergleich zu der Serienware Absatzbeil sind. Dauerformen eignen sich für Gußstücke, die schnell in hoher Stückzahl vorliegen sollen.

Für die Simulation wurde zunächst die Geometrie des Gußstücks (= Dauerform) eingegeben und vernetzt (Form und Abschnitt, siehe Bild 2). Die Vernetzung, die zuerst mit dem Vernetzungsprogramm des Programmpakets CASTS (Computer Aided Solidification Technologies)(4) verfeinert wird, ist notwendig, da die Fourier'sche Wärmeleitungsgleichung für einzelne Elemente, die geometrisch sehr einfach - im dreidimensionalen Fall Tetraeder - sind, gelöst wird. Das Gesamtergebnis, das zeitabhängige Temperaturfeld, wird nach der FiniteElementeMethode berechnet. Dazu ist die Eingabe der thermophysikalischen Daten Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärme und spezifische Dichte des Gießmetalls (hier gemäß Analyse CuSn14) und des Formstoffs

(Annahme: Ton- Sandgemisch) erforderlich, für das Gießmetall zusätzlich die latente Wärme (= Schmelzwärme), die beim Übergang flüssig fest wird sowie die Fest-Flüssig-Verteilung im Schmelzintervall zwischen  $T_{solid}$  und  $T_{liquid}$  für das Gießmetall. Auf diese Weise identifiziert das Programm die gewünschten Materialien. Des weiteren werden die Randtemperatur- sowie die Anfangstemperaturverteilungen eingegeben. Die Anfangstemperaturverteilung gibt beim Metall die Gießtemperatur, beim Formstoff die Temperatur zu Beginn des Gießens, hier 25 °C, an. Die Randtemperaturen, am Rand der Vernetzung, dem Formrand, wurde mit 25 °C angenommen, bei den nach oben offenen Speiser und Anschnitt wurde Strahlung angenommen (gemäß eingegebenen Strahlungskoeffizienten).

Bei der Beurteilung des Ergebnisses werden die Auswirkungen des physikalischen Phänomens der Volumenschrumpfung abgeschätzt. Das beruht darauf (Bild 3), daß ein Stoff im allgemeinen im flüssigen, weil heißeren Zustand eine geringere Dichte hat als im kälteren, festen (Ausnahme Wasser, Kohlenstoff, Antimon z.B.). Das daraus resultierende Schwindungsverhalten führt zu Volumendefiziten wie Lunker (Löcher), Porositäten oder Rissen, die schädlich sind, es sei denn sie liegen an konstruktiv unbelasteten Stellen des Gußteils oder im Anschnitt- und Speisersystem. Da aber fast immer (auch heute noch sehr oft) kleinere Fehler im Gußteil sind, muß nun ihre Lage bestimmt werden (z.B. Röntgen oder auch Beobachtung von außen bei Rissen) und mit dem Simulationsergebnis verglichen werden. Das ist im Temperaturfeld der Punkt (Zone), der am längsten heiß, d.h. flüssig bleibt, der Hot Spot. Da Flüssiges beweglich ist, fließt Schmelze zur Erstarrungsfront, wo das Volumendefizit aufgrund der Schrumpfung ausgeglichen werden soll. Irgendwann ist keine Schmelze mehr im Hot Spot übrig, also entsteht das Volumendefizit in Form von Lunkern oder Porositäten.

Um den Hot Spot in die Lage des realen Fehlers zu bringen, bieten sich Veränderungen von

- Anschnitt/Speisersystem,
- Gießtemperatur,
- Formstoff

in erster Linie an. In unserem Beispiel wurden zwei Anschnitt- und Speisersysteme entworfen (Bild 4). Jedes System ist mit zwei Gießtemperaturen berechnet worden. Bild 5 zeigt die Unterschiede bei den Gießtemperaturen 980 °C und 1000 °C, Bild 6 den Unterschied zwischen den beiden Anschnitt- und Speisersystemen. Anschnitt und Speisersystem 11 (unten) dürfte das wahrscheinliche sein, weil der Hot Spot im Mittelwert genau in einer Zone liegt, die Risse am realen Stück aufweist.

Leider hat das niedersächsische Landesmuseum uns noch nicht den direkten Zugang zum Gußstück ermöglicht, so daß wir auf Abbildungen in der Literatur angewiesen waren. (Diese Untersuchungsmethode ist bei der VW Stiftung beantragt als Projekt im Rahmen Archäometallurgie).

### Literatur

1. DRESCHER, H. 1957. »Der Bronzeuß in Formen aus Bronze«, in: »Die Kunde, Mitteilungen des Niedersächsischen Landesvereins für Urgeschichte«, Heft 1-2, 52-75
2. MOESTA, H. 1983. »Erze und Metalle • ihre Kulturgeschichte im Experiment«, Berlin

3. MONTELIUS, O. 1903. »Die alten Kulturperioden im Orient und Europa«, Stockholm
4. HANSEN, P.N. and SAHM, P.R. 1984. »Numerical Simulation and Modelling of Casting and Solidification Processes for Foundry and Cast-House«, Aachen

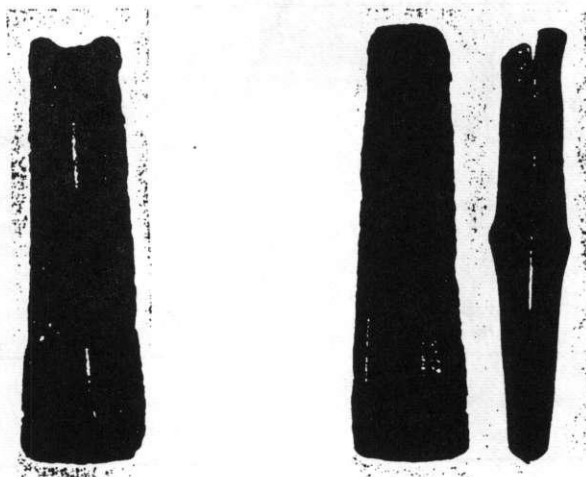


Bild 1: Haassei-II-Dauerform aus CuSn14. Fundort: Haassei, Krs. Uelzen/Niedersachsen. Zeitstellung: Bronzezeit-Periode II (Einteilung Montelius), nach H. Drescher 1953

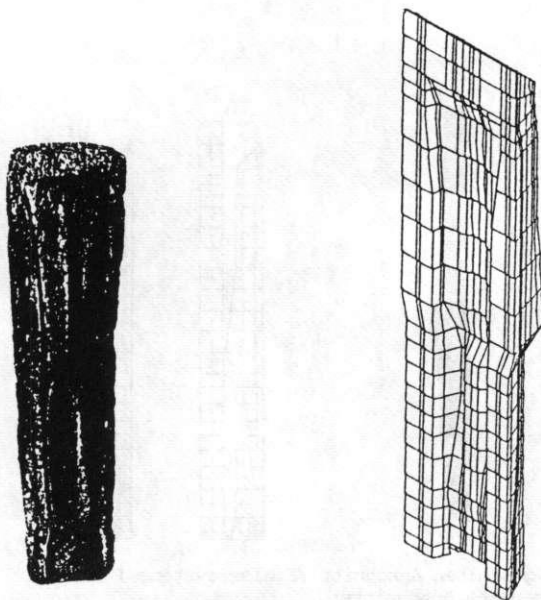


Bild 2: Geometrie-Netz der Haassei-II-Kokille. Die Kokille wird stehend, verkehrt herum gegossen. Zu beachten die Risse im Mittelbereich auf der dickeren linken Schließfläche.

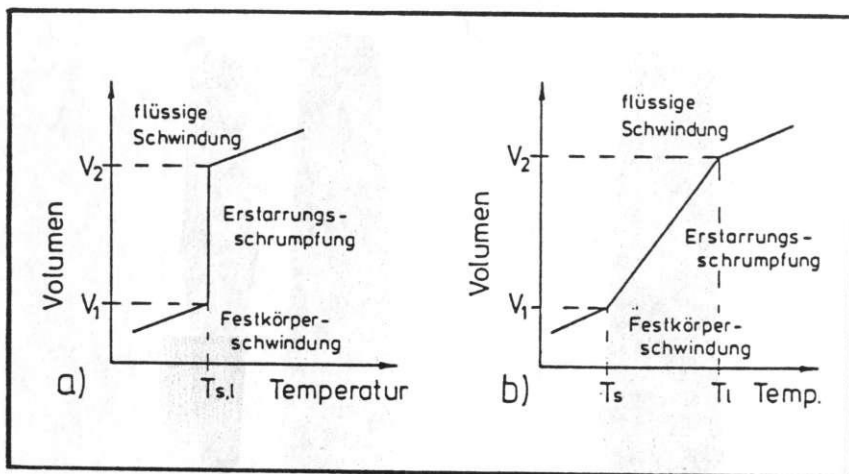


Bild 3: Das Schwindungsverhalten bei a) reinen Metallen u. eutektischen Legierungen; b) eutektische Legierungen. Die größte Schrumpfung findet bei der Erstarrung statt.

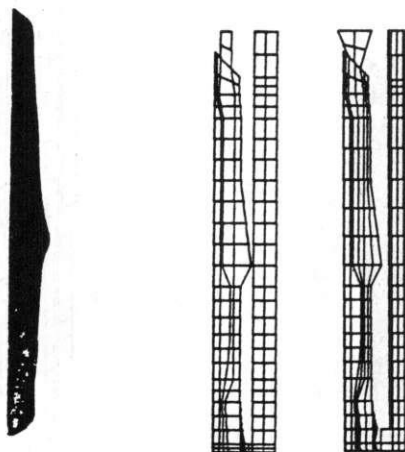


Bild 4: Die zwei gewählten Anschnitt-/Speisersysteme I und II.  
Abmessungen des Anschnitts:

I: 13x13 mm  
97 mm

II: Ø 9,5 mm  
97 mm

Querschnitt  
Höhe



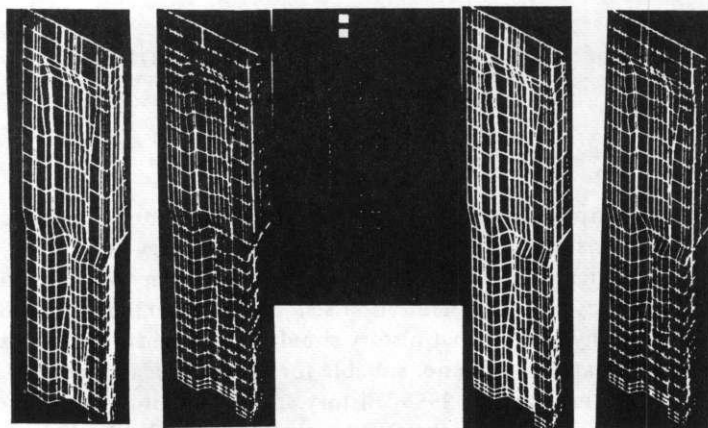


Bild 5: Unterschiede im Erstarrungsablauf bei verschiedenen Gießtemperaturen verdeutlicht dieses Bild. Links Gießtemperatur 1000 °C, rechts 980 °C nach 60 sec und 330 sec.

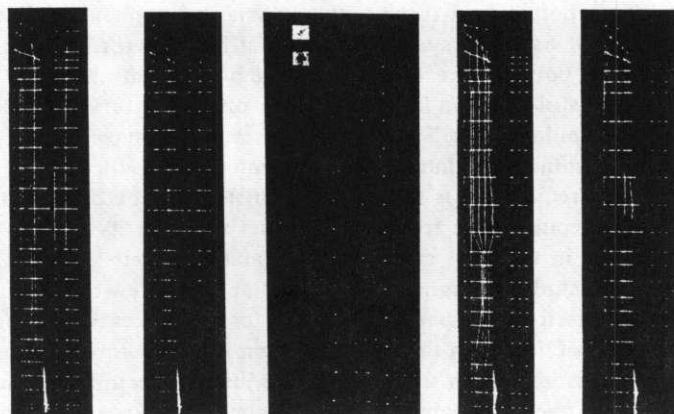


Bild 6: Der Erstarrungsverlauf unterscheidet sich bei den beiden Anschnitt- und Speisersystemen nach 60 sec (jeweils links) und 120 sec (jeweils rechts). Die Aufheizung von Gußstück und Einlauf bei I zeigt, daß das Anschnittsystem nicht zu verwenden ist. Demgegenüber kann das System II mit guter Näherung als das reale angenommen werden. Der "hot-spot" liegt an der Stelle, an der beim realen Gußteil eine Rißzone zu beobachten ist.